液体バッグ積載時のコンテナ側壁の変形計測

三田 重雄*・庄司 邦昭**・山田 次郎***・田中 耕太郎****

Measurement of bulge of container loaded with liquid bag

Shigeo MITA and Kuniaki SHOJI, Jiro YAMADA, Kohtaro TANAKA

Abstract

The liquid transportation uses a tank container, recently a new method to transport the bag which filled with liquid with the container was carried out experimentally. But, bulge or strain of the wall which loaded with liquid bag onto a container are unidentified. In this study, the authors used the 20 ft container and filled the bag with water and measured the deformation and strain of the wall. As a result, a state of the bulge of the side wall became clear. The bulge of the wall was equal to or less than 18mm at the center of the container and clear that it was the transformation of the tolerance level. In addition, change of the strain and the influence of the acceleration became almost clear, too.

Keywords : Container, Liquid bag, Bulge, Wall

キーワード: コンテナ, 液体バッグ, 変形, 壁

1. はじめに

液体輸送には陸上、海上ともアルミや鋼板でできた円筒形の専用タンクを使うのが一般的で、タンクの内部には自由水影響を低減するために防波板が設けられている。これに対し、水を封入したバッグを船倉に積み込んで船舶で輸送する方法が西野ら⁽¹⁾によって提案され、基礎研究が行なわれている。また、巨大な液体バッグを使ってコンテナ輸送する方法も始まった。バッグ輸送では静水圧や自由水による変動荷重に耐え、液漏れを生じないことが重要である。

本研究で対象とするコンテナ輸送ではバックの強度をコンテナの強度で補う方法がとられ、持ち帰りが不要な使い捨て式の樹脂製バックをコンテナに積載した後に液体を注入する。この場合、コンテナに大きな変形が生じるが実態が把握されておらず、規格化されたコンテナを積載するコンテナ船での運用が滞っている。ここではコンテナに液体バッグを積載した時の壁面の変形挙動を、実機を使用して大井コンテナターミナルにおいて注水作業と移動実験、

ならびに排水作業を行って調査した一例を報告する。

2. 研究の方法

2.1 コンテナおよび液体バッグ

実用化されている液体バッグの多くは、20 フィートコンテナ（以下“20ft”）用で、実験では 20ft、24ton 型のコンテナと、最近製品化された小川テック製の 20KL 型液体バッグ（商品名“シルキー”）を使用した。24ton 型コンテナは旧型で、側壁のボルゲーシヨンの形状は大半を占める現行の 30ton 型の連続した台形と一部が異なり、三角形の部分（Fig. 1 参照）がある。一方、液体バッグは厚さ 0.5mm で 3850mm×6650mm のポリエチレンフィルム 2 枚を枕状に熱融着してポリプロピレンの不織布で覆ったもので、膨らました時の中央円形断面直径はコンテナの公称内法高さ 2387mm（幅 2352mm）に等しい。なお、コンテナ内のささくれや突起物から保護するために床面と側面にダンボールを敷く等養生法が決められているが、製品は 1 回限りの使用に限定されている。

* 正会員 東京海洋大学海洋工学部 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6) mita@kaiyodai.ac.jp

** 正会員 東京海洋大学海洋工学部

*** 非会員 川崎汽船株式会社

**** 非会員 株式会社小川テック

Fig. 1 Dimensions of 20ft container and arrangement of sensor setting points.

Fig. 2 General view of container, and displacement sensor.

2.2 実験の方法

実験は注水および排水、テナークレーンによる上下・左右方向の移動および積み重ね、ならびにヤードトラックに積載してのヤード周回を行い、この間の壁面の変形やひずみ、壁面に加わる圧力、コンテナ本体に作用する加速度等の変化をセンサーで計測した。また、注水および排水の前後に側壁の凸部にスケールを当てて両面全体の高低差を測定し、壁面の変形状態の変化を調べた。Fig. 1 に 20ft コンテナの寸法とセンサー類の配置を、Fig. 2 に実験準備中のコンテナ外観と変位計の取り付け状態を示す。なお、コンテナは加工を行うために実験に支障がない程度の変形や傷が残る要修理品を使用した。実験に先立って目視を行い、側壁の変形が少ない右側をひずみ計測面、左側を変位計取り付け面とした。

使用したセンサーは 120 Ω の抵抗線箔ひずみゲージ（共和電業：KFG-3-120-C1）とひずみゲージ式の圧力計（共和電業：PS-05KD、定格容量 50kPa）、単軸加速度計（共和電業：SA-10B、定格容量 10G）、三軸加速度計（共和電業：AS-2TG、定格容量 2G）、ならびにレーザ光式の変位計（SUNX：LM10-130、測定中心距離 130mm、測定範囲 ± 50 mm）で、ひずみゲージは壁面の内と外の同位置に貼り付けて曲げ

ひずみ（略記号“BS”）と引張ひずみ（略記号“SS”）が検出できるようにした。なお、バッグと壁面の間には養生用の厚さ 5mm の段ボールが挟まれており、センサーは直接接していない。また、変位計は Fig. 2 の写真に示すように変形を見込んで壁の表面から約 150mm 離して鋼製アングルに取り付けた。そして、注・排水時や実験中の計測信号はデータ収録器（KEYENCE：NR-2000）を使ってパソコンに収録し、解析に供した。これらの計測器やパソコン等はコンテナの前側（front end）に仮設した台に配置し、電源は小型発電機とバッテリーから供給した。

これに対し、壁面全体の変形は鋼製アングルにデプスゲージ式のスケールを 150mm～250mm 間隔で取り付けた手持ち式の形状測定治具を使い、上下のはりの表面を基準にして外側凸面の中央付近の高さを測定した。測定治具を横にした状態を Fig. 3 に示すが、スケールの読み取り基準線は平面に対し絶対誤差が 1mm 以下になるように設けてあり、治具の精度と押し当てるはりとの接触状態も含めた絶対誤差は基準平面に対し 2mm 以下と考えられる。

Fig. 3 Wall shape measuring instrument.

3. 結果および考察

3.1 注・排水による壁面全体の変形

バッグへの注水作業はコンテナをヤードトラックに載せて台秤の上で行い、所定の 20ton を注水して満水にした。所要時間は給水ホースの調整も含めると 2 時間半以上に及んだ。Fig. 4 に別の機会に撮影

Fig. 4 Shape of a bag filled with water.

した満水時の液体バッグの様子を示す。詳細な形状はつかめないが、おおむね枕状に膨らんで上方が潰れていることが分かる。センサーを使った変形挙動の計測結果は後述することとし、スケールを当てて測定した壁面全体の形状変化について先に述べる。

Fig. 5 と 6 は右側と左側の壁面について、注水の前後に測定した凸面の等高線図とこれらの差から求めた変形量の等高線図を示す。横軸が扉側を 0 としたコンテナの長さ方向、縦軸が下側を 0 とした高さ方向の位置で、左側の中央は変位計が取り付けられているために両脇の値を平均した値で表した。

a. Before supply with water.

b. After filled with water.

c. Bulge of wall.

Fig. 5 Contour map of wall of right side.

a に示す注水前の壁面の等高線は右側が 75mm～100mm、左側が 80mm～100mm の範囲に分布しており、測定治具の測定誤差以上の有意な変化である。そして、縦線で示す中央と前後端のコルゲーションが三角形を成している付近（以下“三角形部”）、左側の扉側から 2.2m と 3.9m 付近に変形があり、平坦でないことが分かる。次の b は注水後の等高線で、左右面とも中段付近が前・後部端を除いてほぼ均一に膨らんでおり、中央と前・後端の三角形部の膨らみが幾分大きい。最後の c は注水後の値から注水前の値を差し引いた注水による変形量の等高線で、左側、右側とも前・後端の三角形部中段付近の変形が大きく、一部で 20mm 以上に達しているが概ね似通った変形を示している。そして、上下、前後端に近付くほど小さくなっており、左側の三角形部脇に 25mm を超えた点があるが、コルゲーションの形状が均一な台形で、現行の 30ton 型と同一形状である中央付近（中央のパネルは板厚 1.6mm）の変形は 15mm と 20mm の等高線の範囲内に収まっている。また、中段付近（下端から約 1m の高さ）で側壁の変

a. Before supply with water.

b. After filled with water.

c. Bulge of wall.

Fig. 6 Contour map of wall of left side.

形が最大になっているが、この要因として、バッグは Fig. 4 に示したように枕状に膨らむが、水の重さで変形して中段付近の広い範囲で側壁に接していることが考えられる。

次に、後述するヤードトラックによる周回実験を終了した後に計測した壁面の凹凸と、排水を完了して4日間経過した後に計測した壁面の凹凸から求めた排水時の変形（戻り量で表す）を Fig. 7 に示す。また、Fig. 8 に注水前と排水4日後の壁面の凹凸から求めた壁面の残留変形を示す。Fig. 7 の右側の変形は注水時と似通った等高線を示していて、Fig. 8

の a に示す残留変形もほとんどが 0 であり、液体バッグによる一時的な変形はほぼ完全に回復している。一方、Fig. 7 の b に示す左側は、扉側に近い三角形部で注水時よりも等高線が高くなっていて、Fig. 8 の残留変形もこの部分だけに大きく変形（くぼみ）を生じた状態になっている。この原因は排水後のコンテナをメンテナンスショップ周辺で大型フォークリフトを使って数回移動していることから、実験後に変形したと考えられ、バッグを積載した際の変形は回復している。

3.2 注・排水時の壁面の変形挙動

Fig. 9 に給水前の初期状態から給水が完了するまで続けて収録した時系列データの収録画面を示す。画面上段から中段はひずみと圧力、下段は変位計で検出した壁面の変形で、横方向が時間軸、縦方向が変動（ここでは電圧）を示しており、注水によるはっきりとした変動は収録開始から 1/3 位時間が経過した時点から認められる。当初、壁面全体に水圧が作用すると見込んでひずみ計やデータ収録器の感度を設定したので画面上の変動は小さく表示されているが、長時間の変動が取得できた。これに対し、Fig. 10 に実験終了後の約 20 分間の排水時の時系列データを示すが、給水時よりも感度を上げたので変動が十分に認められる程度の大きさに取得できた。当初バルブから徐々に排水を行なったが、途中でバッグを切り裂いて短時間で完了させたのでその変動も中

a. Right side.

b. Left side.

Fig. 7 Spring back of wall after drainage.

a. Right side.

b. Left side.

Fig. 8 Remaining deformation of wall after tests.

Fig. 9 Time history on pouring water.

Fig. 10 Time history on pump out.

盤に現れている。また、引張りずみはスケールアウトしないように途中で感度を切り替えた。なお、Fig. 9、10 とも注水量、あるいはバッグの膨らみとの関係は得られていないが、注水が進んでバッグが側壁にもたれ始めてからひずみに変動が生じていると考えられる。

次に、Fig. 11 に注水時の時系列データについて壁面の変形挙動と主要なひずみの変化を解析した結果を示し、Fig. 12 に排水時の解析結果を示す。

Fig. 11 の a は左側壁面の凸部中央に取り付けた変位計で計測した注水中の膨らみ量の変化で、変動を生じてから約 15 分間隔 (Fig. 9 に t1~t4 で示す) で測定した注水完了までの変化を示す。図は横軸が変形 (膨らみ) 量、縦軸が高さ方向の位置 (h) で、いずれの時間においても下から 1m 付近が最大を示す放物線状になって徐々に膨らみ、最大でも 18mm

には達していない。図には注水後の変形量についてスケールを当てて測定した右側中央の値を×印、左側の変位計取り付け部の両脇の平均値を+印で示すが、変位計で検出した値と一致しており、左右対称に変形が進んでいる。同様に Fig. 12 の a に排水時の変位計で検出した凸部の変形 (戻り) 量と Fig. 11 に示した注水時の変形、ならびにスケールを当てて測定した値を示す。このときの時系列値の読み取り間隔は約 4 分 (Fig. 9 に t1~t5 で示す) であるが、変形挙動は注水時と同様で、大きさも排水完了時の戻り量と注水時の膨らみ量とがほぼ一致しており、変形は回復している。なお、排水後にスケールを当てて測定した右側の高さ 1.25m 点の値だけが 10mm 小さくなっている (これは読み取りミスも考えられる) が、他の値は注水時と同様に変位計で検出した値と一致している。

a. Bulge of wall.

b. Change of deformation of wall.

c. Change of strain.

Fig. 11 Deformation behavior of wall on filling.

a. Spring back of wall.

b. Change of deformation of wall.

c. Change of strain.

Fig. 12 Deformation behavior of wall on draining.

Fig. 11、12 の b、c は $h=0.5\text{m}$ における変形量に対する他点の変形、ならびにひずみの関係を調べたものである。b に示すように他点の変形は $h=0.5\text{m}$ における変形に比例して注水時は膨らみ、また排水時は戻っており、相関があることが分かる。また、c に示すひずみの変化は、変動の小さい計測点もあるが、注水時と排水時とではひずみの方向がすべて逆向きになっているので有意な変化であると考えられる。そして、▼印で示す $h=0.25\text{m}$ での曲げひずみ (BS025)、★印で示す中央脇の凹部 $h=0.5\text{m}$ での曲げひずみ (BSNCC050)、☆印で示す引張ひずみ (SS050) は、壁面の変形にほぼ比例して注・排水後に $20 \times 10^{-6}\text{st} \sim 600 \times 10^{-6}\text{st}$ 程度の変化を生じている。中でも引張ひずみは大きく、給水時が $600 \times 10^{-6}\text{st}$ 、排水時が $-500 \times 10^{-6}\text{st}$ 程度に達しており、曲げひずみも計測位置によって極性が異なる等、変形挙動を予測する上で重要な手がかりになると考える。

このひずみを応力に換算すると、

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

ここで

E : 縦弾性係数 ($=205.8 \text{ kN/mm}^2$)

ε : ひずみ

σ : 応力 (kN/mm^2)

であるから、 $\varepsilon = 600 \times 10^{-6}\text{st}$ としたときの引張応力は式(1)から 0.123 kN/mm^2 となる。この値は一般構造用圧延鋼材 (JIS SS400) の降伏応力 0.245 kN/mm^2 の半分程度に当たる。なお、コンテナに使用されている高耐候性圧延鋼材^④のコールテン (JIS SPA-H 相当) の降伏応力は SS400 よりも高く、 0.343 kN/mm^2 に達し、より安全である。そして、実験で計測した範囲では曲げひずみは引張ひずみよりも 1 桁小さいが、計測位置によって異なるので計算等により変化を確認する必要がある。なお、国際一般貨物コンテナ^⑤ (JIS Z-1618) は側壁全面に垂直外向きに最大積載質量の 0.6 倍の荷重をかけて試験 (強靱な風船を膨らませて加圧する⁽⁴⁾) され、荷重が取り除かれた後に使用上の妨げとなるような変形または損傷があつてはならないとされている。某検査機関では最大でも残留変形は中段部で 12mm 以内、上部、下部で 3mm 、 5mm 以内の判定基準が設定されている。今回の実験では静水圧による側壁中央部の変形は 18 mm 近くに達したが、積み付けに支障をきたす 25 mm には至らず、前述したように排水後に回復した。

3.3 壁面の変形量の試算

ここでは液体バッグが無くて静水圧が壁面に分布して作用する場合と、Fig. 11 と Fig. 12 の結果から

下から 1m の高さに集中荷重が作用する場合の壁面の変形について、壁面の中央部分を単純な両端固定または単純支持のはりと考えて変形挙動を調べる。

Fig. 13 に側壁の中央パネルの断面形状と分布荷重、集中荷重の 2 種類の異なるはりを示すが、ここでは a の図に示すパネルの断面寸法は内側と外側の平面部分を括弧で示す値とし、1 ピッチ 278mm 当たりの断面諸量を次式^⑥により計算した。ただし、 A : 断面積、 I : 断面二次モーメント、 Z : 断面係数

$$\left. \begin{aligned} A &= 2 \cdot t(a+b) \\ I &= 2 \cdot \frac{t \cdot d^3}{12} (3 \cdot a + b) \\ Z &= 2 \cdot \frac{t \cdot d}{6} (3 \cdot a + b) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

まず、静水圧が壁面に作用する場合について調べる。このコンテナの公称内法寸法は長さ 5901mm × 幅 2352mm であるから、 20ton の清水を満たしたときの水面高さは $20 \times 10^3 / (5901 \times 2352 / 10^6) \div 1441\text{mm}$ となる。また、側壁のパネルの高さと長さは Fig. 1 に示したように $2321\text{mm} \times 5585\text{mm}$ で、床面とパネルの下部とは一致しているとする。

ここで、両端固定のはりに分布荷重 w_0 (N/mm) または集中荷重 W が作用したときとの反力 R_1 、 R_2 、モーメント M_1 、 M_2 、上端から x 離れた点におけるモーメント M 、変形量 y_1 、 y_2 を文献(5)の公式で示す。

Fig. 13 Load to act on side wall.

まず、分布荷重については式(3)~(5)で示される。

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{w_0 \cdot l_2^3}{4 \cdot l^2} - \frac{w_0 \cdot l_2^4}{10 \cdot l^3} \\ R_2 &= \frac{w_0 \cdot l_2}{2} - R_1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{w_0 \cdot l_2^3}{12 \cdot l} - \frac{w_0 \cdot l_2^4}{20 \cdot l^2} \\
 M_2 &= M_1 + \frac{w_0 \cdot l_2^2}{6} - R_1 \cdot l \\
 0 \leq x \leq l_1 : M &= -R_1 \cdot x + M_1 \\
 l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 : M &= \frac{w_0}{6 \cdot l_2} (x - l_1)^3 - R_1 \cdot x + M_1
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 0 \leq x \leq l_1 : \\
 y_1 &= \frac{1}{E \cdot I} \left\{ -\frac{R_1 \cdot x^3}{6} + \frac{M_1 \cdot x^2}{2} \right\} \\
 l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 : \\
 y_2 &= \frac{1}{E \cdot I} \left\{ \frac{w_0}{120 \cdot l_2} (x - l_1)^5 - \frac{R_1 \cdot x^3}{6} + \frac{M_1 \cdot x^2}{2} \right\}
 \end{aligned} \quad (5)$$

次に集中荷重について(6)～(8)に示す。

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{W \cdot l_2^2 (l + 2 \cdot l_1)}{l^3} \\
 R_2 &= \frac{W \cdot l_1^2 (l + 2 \cdot l_2)}{l^3}
 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2^2}{l^2} \\
 M_2 &= \frac{W \cdot l_1^2 \cdot l_2}{l^2} \\
 M_3 &= -\frac{2 \cdot W \cdot l_1^2 \cdot l_2^2}{l^3}
 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 0 \leq x \leq l_1 : \\
 y_1 &= \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2^2 \cdot x^2}{2 \cdot E \cdot I \cdot l^2} \left\{ 1 - \frac{(l + 2 \cdot l_1)x}{3 \cdot l \cdot l_1} \right\} \\
 l_1 \leq x \leq l : \\
 y_2 &= \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2^2 \cdot x^2}{2 \cdot E \cdot I \cdot l^2} \left\{ 1 - \frac{(l + 2 \cdot l_1)x}{3 \cdot l \cdot l_1} \right\} + \frac{W(x - l_1)^2}{6 \cdot E \cdot l} \\
 l_1 \geq \frac{l}{2} \text{ のとき } x &= \frac{2 \cdot l \cdot l_1}{l + 2 \cdot l_1} : y_{1\max} = \frac{2 \cdot W \cdot l_1^3 \cdot l_2^2}{3 \cdot E \cdot I (l + 2 \cdot l_1)^2} \\
 l_1 \leq \frac{l}{2} \text{ のとき } x &= \frac{l^2}{l + 2 \cdot l_2} : y_{2\max} = \frac{2 \cdot W \cdot l_1^2 \cdot l_2^3}{3 \cdot E \cdot I (l + 2 \cdot l_2)^2}
 \end{aligned} \quad (8)$$

Fig. 13のbに示す両端固定のほりに静水圧が作用する状態について、式(3)～(5)によりゴルゲーション1ピッチ278mm当りの計算をすると、反力 $R_1=410$ N、 $R_2=2421$ N、曲げモーメント $M_1=264.9$ kN・mm、 $M_2=672.8$ kN・mm となる。これを基に壁面の変形量と曲げモーメントを計算した結果を Fig. 14 に太線で示す。反力から長さ5.585mの壁面に加わる荷重は56.8kN ($= (410 + 2421) / 1000 \times 5585 / 278$) となり、1ピッチ278mm当りの最大曲げモーメント M_2 (最下部の位置に作用する) から、最大曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (9)$$

により 0.121 kN/mm² (断面係数 $Z=5566$ mm³) であり、実験で計測された引張応力と同程度になる。実験ではこの大きさに相当する曲げひずみは検出されなかったが、図にも示すように曲げモーメントが高さ位置によって変化することも関係している。一方壁面の変形を見ると、下から1m付近が最大値3.6mmに達するが、実験値の20%程度の大きさである。また、両端を単純支持のほりとした場合の計算値を細線で示すが、下から1m付近に最大変形量19.0mm、0.8m付近に最大曲げモーメント772kN・mmを生じ、変形量は実験値とほぼ等しくなる。

Fig. 14 Deformation of wall.

これらに対し、Fig. 13のcに示す集中荷重の作用する両端固定のほりに、高さ1mの位置に静水圧に相当する単位幅当り10Nの集中荷重が作用したときの変形量を式(6)～(8)で計算した結果を Fig. 14 に●印を付して示す。変形量の最大値は8.5mmで、ほぼ実験値の半分の大きさになっており、最大曲げモーメントが913kN・mm、曲げ応力が0.162 kN/mm²である。また、単純支持のほりとした場合の試算では最大変形量34.2mm、最大曲げモーメント1579kN・mmを生じ、大きい。

このように、ほり両端の固定方法や荷重の加わり方で変形量や曲げモーメントは大きく変わるが、液体バッグを積載したコンテナではバッグが潰れ、高さ1m付近に広く壁面にもたれかかって静水圧相当分が分布荷重となって作用し、荷重によってパネルを固定している上下端のサイドレールにねじれ変形が生じていると考えられる。したがって、液体バッグの接触状態をつかむことは不可欠であり、上下端のサイドレールの変形も含め模型実験や数値解析によって今後さらに調べていく必要がある。

3.4 移動実験中の壁面の変形挙動

テナークレーンとヤードトラックによる移動実験時の時系列データの収録画面を Fig. 15、16 に示す

Fig. 15 Time history on up-down experiment.

Fig. 16 Time history on circular experiment.

が、注水時とデータの収録項目を変更し、ひずみの計測点を減らして新たに加速度を加えた。また、この実験ではひずみと圧力は実験前に初期平衡を取り、静水圧分は除いた。

Fig. 15 はテナークレーンの上下スピードをコントロールするノッチを3段階に変え、地上への上げ下げとコンテナ上への積み重ねを2回繰り返して行った結果を示す。この実験では特にクレーンに取り付けられているスプレッダーとコンテナの吊り金具とに遊びがあり、地切りと着地の際に大きな衝撃がコンテナに伝わった。特徴のある時系列データを Fig. 17 に示すが、地切りと着地の際の衝撃が d の Z 方向の加速度の衝撃波形に連動して他のデータにも現れている。そして、b と c の波形にはこれに合わせて数箇所 0 点の変動が見られる。これらを見無視すると Z 方向の加速度の変化は 1g 以下で、ひずみや側壁の変形量等の変動分は静水圧による変化分の数分の 1 であり、通常行うクレーンの操作範囲ではコンテナの側壁に異常は生じないと予想される。

次に、Fig. 16 に示したヤードトラックの実験は液体バッグを積み込んだコンテナをヤードトラックに積載し、コンテナが蔵置されたヤードの一角（直線距離約 300m、1 周約 650m）を右回りで 2 周したもので、スタート直後に右旋回する。そして、20～40km/h の速度で走行し、途中急ブレーキや道路上に敷設された配管を乗り越える等を行ってデータを

取得した。旋回時や障害物を乗り越えるとき、ブレーキをかけたとき等に変動が出ているので特徴のある時系列データを Fig. 18 に示す。

Fig. 17. Change of value on up-down experiment.

Fig. 18. Change of value on circular experiment.

d~e の加速度 (X は後向きがプラス、右手系) 波形を見ると進行方向の速度変動を示す d の X 方向の加速度に 1g 近くの変動がある。また、f の Z 方向の加速度は配管を乗り越えたと思われる 190 秒と 410 秒付近に変動を生じているが、全体的には小さく、e の Y 方向の加速度もスタート直後と反転時に旋回した付近で変動を生じているが 0.05g にも満たない。そして、ひずみと壁面の変形は X 方向と Y 方向の加速度に連動して変化しているが、変動量は c の壁面の変形量で見ると 4mm 前後の値を示し、静水圧による変形の 1/4 以下である。なお、変位計は左側面につけてあるので右に旋回したときには遠心力が加わって壁面が膨らみ、変位計との距離が狭まるので信号はマイナス側に変動する。この際、加速度計は右向きをプラスとしており、マイナス側に変動する変化も見られる。

走行実験はヤード内で行ったもので、実走行を想定すると速度や加・減速度も不十分であり、前後の壁面に加わる荷重や変形等のデータも取得できていない。しかしながら、どのような変動を生じるかは十分につかめ、この実験データを解析することである程度の推定は可能であり、有用である。また、船舶に積載した場合には積み付け位置によって動揺振幅や速度、加・減速度等が変化するが、これらが分かれば適応も可能である。

4. まとめ

本研究ではコンテナと液体バッグの実機を使って主に変形挙動を調べ、次の結果が得られた。

(1) 液体バッグを積載したときのコンテナ側壁面の変形量につかめ、コルゲーションの形状が均一な台形で現行の 30ton 型と同一形状である中央付近の最大変形量は 15mm~20mm の範囲内であった。また、バッグから排水すると変形が回復することが確認でき、運用のめどがついた。

(2) 側壁をはりと仮定して変形量を試算した結果、概ね妥当な値が得られたが、固定条件によって大きく変わるので、バッグの形状や接触状態、上下のサイドレールの変形等も含めて調査する必要がある。

(3) コンテナヤード内での移動実験を行い、通常生じる加速度や側壁の変形挙動等がつかめた。

謝辞

本研究は大井コンテナターミナルで実験を行い、多数の皆様にご協力をいただきました。川崎汽船の柏木伸二氏、西尾秀明氏、小川テックの大岩要氏、長田宗平氏、ダイトコーポレーションの方々、他

関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 西野好生・久保雅義：袋体を用いた船舶による液体輸送に関する基礎研究－Ⅳ．一縮尺が異なる袋体の静的な相似性について－，日本航海学会論文集，118 号，pp.45-252 (2008)．
- (2) JIS ハンドブック 鉄鋼Ⅱ-2007，日本規格協会 (2007)．
- (3) JIS ハンドブック 物流-2007，日本規格協会 (2007)．
- (4) 吉野克一：コンテナを追え，成山堂 (2000)．
- (5) 関西造船協会：造船設計便覧 第 3 版，海文堂 (1976)．

質疑応答

亀岡福太郎 (アイ・エイチ・アイ・マリンユナイテッド)：

液体バッグを使用した方が専用タンクより有利である点を教えてほしい。本研究のヤードトラック実験は船に積載した時を模したものと考えるのか、実際の航海で働く応力はどのように見積もっているのか？

三田重雄：

ご質問ありがとうございます。専用の液体タンクを用いた場合、空になったタンクを持ち帰る必要があります費用がかかります。これに対し、使い捨て式の液体バッグを使用した場合その必要はありません。また、液体バッグの製作費は専用タンクの製作費よりも安く、リサイクルが可能な樹脂を材料にしているので輸送コストの削減だけではなく環境負荷への低減もできます。

次に、ヤードトラックの実験ですが、あくまでも陸上輸送を対象として行っています。しかし、カーブ切るときデータの船が旋回するときのデータとしても参考になりますので、まったく無関係ではないと考えます。実際の航海で働く応力は、横揺れや旋回したときに側壁に働く荷重について ISO の傾斜水圧に関する基準があるとのことですが、どの程度見込めば良いのか検討しています。

笹健児 (広島商船専門高等学校)：

バッグ自体の強度はコンテナ自体の強度と比較してどうですか？

三田重雄：

バッグ本体のポリエチレンは水道管や灯油缶などに使われており、実用上強度の問題はありません。また、表面を覆っているポリプロピレンは一般に見かけるアクリル樹脂や塩化ビニール樹脂と

同程度でポリエチレンよりも強いです。コンテナ本体は高耐候性の鋼で、バッグよりもはるかに強

度は高いです。現在、液体バッグの試験運用が行われており、特に大きな問題は出ていません。